

高強度コンクリートのアルカリ骨材反応性と 高炉スラグ微粉末による抑制効果に関する研究

A STUDY ON THE ALKALI-AGGREGATE REACTION IN HIGH-STRENGTH CONCRETE WITH PARTICULAR RESPECT TO THE BLAST-FURNACE SLAG EFFECT

澤田 由美子¹⁾, 權 寧 璉²⁾, 浜 幸 雄³⁾, 田 畑 雅 幸⁴⁾, 鎌 田 英 治⁵⁾

*Yumiko SAWADA, Kwon YOUNG JIN, Yukio HAMA,
Masayuki TABATA and Eiji KAMADA*

The alkali-aggregate reaction and blast-furnace slag effect in high-strength concrete were studied in this paper. From the results of this study, it is possible to draw the following conclusions :

- (1) In high-strength concrete, because of high alkali content, the possibility of alkali-aggregate reaction is much higher than conventional concrete.
- (2) The occurrence of large expansion can be prevented by using nonreactive aggregate, which has been judged according to the mortar bar and chemical method's as specified in JIS A 5308, in high strength concrete.
- (3) The replacement of cement by 30% of blast-furnace slag and using low alkali cement can prevent the alkali-aggregate reaction from causing large expansion in high-strength concrete.

key words: alkali-aggregate reaction, high-strength concrete, nonreactive aggregate, blast-furnace slag, the replacement of cement by 30%, low-alkali cement

アルカリ骨材反応, 高強度コンクリート, 非反応性骨材, 高炉スラグ, 置換率30%, 低アルカリセメント

1. はじめに

アルカリ骨材反応によるコンクリートの劣化は、コンクリート中の総アルカリ量と密接な関係があることが知られている。この反応による有害な膨張を抑制するために、次のような対策が挙げられている¹⁾。

- ① 化学法、モルタルバー法によって無害と判断された骨材の使用
- ② 全アルカリ(R_2O)=0.6%以下の低アルカリセメントの使用
- ③ 抑制効果のある混合セメントの使用
- ④ 総アルカリ量 3.0kg/m^3 となる調合の採用

これらの抑制対策からも分かるように、コンクリートに対するアルカリの主たる供給源はセメントである。

近年実用化された高強度コンクリートは、低水セメント比を得るために、単位セメント量が大きく、したがって、セメントからもたらされるアルカリ量が増大するため、アルカリ骨材反応に対して不利な条件となる。しか

し、強度による膨張抑制の可能性もあり、高強度コンクリートの実用化には、アルカリ骨材反応についての検討は必要不可欠である。

JCIコンクリートバー法は、実際のコンクリートの調合の反応性判定試験として、平成3年にJCI(日本コンクリート工学協会)によって提案された試験法である。本研究はこの試験法に基づいて実験を行い、高強度コンクリートのアルカリ骨材反応について、

- ① 単位セメント量が大きい高強度コンクリートは、普通強度のコンクリートと比較して不利な条件であるといえるか
- ② モルタルバー法において、アルカリがわずかに増加するだけで有害な膨張を示す骨材は、高強度コンクリートの高アルカリの環境下で有害な膨張を生じないか
- ③ 普通強度のコンクリートのアルカリ骨材反応抑制対策として用いられる高炉スラグ微粉末の利用は

¹⁾ ハザマ技術研究所 研究員・工修

²⁾ 雙龍洋灰株式会社 工博

³⁾ 北海道大学工学部建築工学科 助手・工修

⁴⁾ 北海道職業能力開発短期大学校 助教授・工博

⁵⁾ 北海道大学工学部建築工学科 教授・工博

Hazama Technical Research Institute, M. Eng.

Ssang Young Cement Industrial Co., Ltd, Dr. Eng.

Research Assoc., Dept. of Architecture, Faculty of Engineering, Hokkaido University, M. Eng.

Assistant Prof., Hokkaido Polytechnic College, Dr. Eng.

Prof., Dept. of Architecture, Faculty of Engineering, Hokkaido University, Dr. Eng.

高強度コンクリートにおいても有効かどうかを検討したものである。

2. 実験計画

2-1 骨材の選定

コンクリートによる実験を行う前段階として、各実験で使用する骨材を選定した。細骨材7種類、粗骨材10種類の計17種類の骨材について、モルタルバー法および化学法を行い、反応性の高い骨材を見いだすことのほか、通常のモルタルバー法においては、非反応性骨材と判定されるものの、アルカリがわずかに増量することより有害な膨張を示す骨材（以下、比較的反応性の高い非反応性骨材と呼ぶ）も見いだすことを目的として実験を行った。比較的反応性の高い非反応性骨材は、高強度コンクリートの高アルカリの環境下において有害な膨張を生じる可能性があると考えられるからである。このため、モルタルバー法については、総アルカリ量をJIS A 5308で規定されている1.2%およびこれをわずかに上回る1.5%とした。実験計画を表1に示す。

2-2 高強度コンクリートのアルカリ骨材反応

高強度コンクリートのアルカリ骨材反応性について、次の2つの実験を行った。

（実験Ⅰ） 単位セメント量増大の影響

高強度コンクリートは単位セメント量が大きくなり、総アルカリ量が増大する。ここでは、単位セメント量の増大がコンクリートの膨張にどのような影響を及ぼすかを検討した。実験は単位セメント量 350kg/m^3 の普通強度コンクリートと、単位セメント量 650kg/m^3 の、高性能AE減水剤を用いた高強度コンクリートおよび同じ単位セメント量で高性能AE減水剤を用いないコンクリートについて行った。反応を促進するためのアルカリの増量は試薬1級水酸化ナトリウム（NaOH）の2規定溶液を使用して行い、セメントからのアルカリを含めた総アルカリ量 6kg/m^3 程度までの範囲で、コンクリート中のアルカリ量を単位セメント量 350kg/m^3 のコンクリートでは4水準、単位セメント量 650kg/m^3 のコンクリートは5水準を選択することとした。実験計画を表2に示す。セメントは普通ポルトランドセメント（比重3.16、全アルカリ（ R_2O ）=0.58%）とし、骨材は反応性骨材として細骨材N（海砂）および粗骨材C（安山岩碎石）を、非反応性骨材として細骨材M（川砂）および粗骨材T（安山岩碎石）を使用し、骨材の組み合わせによる膨張性の違いも検討した。

（実験Ⅱ） 非反応性骨材の安全性の確認

モルタルバー法において、非反応性骨材と判定された骨材は、アルカリ骨材反応の抑制対策なしに用いられている。しかし、非反応性と判定された骨材にも、アルカ

表1 骨材の選定

モルタルバー法 総アルカリ量	細 骨 材						粗 骨 材									
	M	N	I	F	K2+O2	S	C	A	K	T	T2	L5	O1	R	M1	C1
1.2%	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
1.5%			○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	

表2 単位セメント量増大の影響（実験Ⅰ）

単位 セメント量 kg/m^3	細骨材	粗骨材	添加アルカリ量 kg/m^3							高性能 AE 減水剤
			0.0	0.6	1.2	1.8	2.4	3.0	3.6	
350	非反応性骨材M*	反応性骨材C				○	○	○	○	無使用
	反応性骨材N	非反応性骨材T*				○	○	○	○	無使用
650	非反応性骨材M*	反応性骨材C	○	○	○	○	○			無使用
	反応性骨材N	非反応性骨材T*	○	○	○	○	○			無使用
	非反応性骨材M*	反応性骨材C	○	○	○	○	○			使用
	反応性骨材N	非反応性骨材T*	○	○	○	○	○			使用

表3 非反応性骨材の安全性の確認（実験Ⅱ）

単位 セメント量 kg/m ³	細 骨 材	粗 骨 材 比較的反応性の高い 非反応性骨材(2種類)	添加アルカリ量 kg/m ³					高性能 AE 減水剤	
			0.0	0.6	1.2	1.8	2.4		
350	非反応性骨材	A*	○		○	○	○	無使用	
			○		○	○	○	使用	
			○		○	○	○	無使用	
		K*	○		○	○	○	使用	
500			A*	○	○	○	○		使用
				K*	○	○	○	○	
		650	A*	○	○	○			使用
				K*	○	○	○		

表4 高炉スラグ微粉末による抑制策（実験Ⅲ）

単位 セメント量 kg/m ³	粉末度 cm ² /g	置換率 %	細骨材	粗骨材	添加アルカリ量 kg/m ³										アルカリ 種類
					1.6	2.4	3.2	4.0	4.8	5.6	6.4	7.2	8.0		
450	4000	0	非反応性骨材 M*	反応性骨材 C 1	○	○	○	○	○						NaCl
		30					○	○	○	○					
		45					○	○	○	○	○				
		60						○	○	○	○	○	○		
	6000 せっこう含有・ 未含有	0		○	○	○	○								
		30			○	○	○	○							
		45				○	○	○	○	○					
		60					○	○	○	○	○	○			
	8000	0		○	○	○	○								
		30			○	○	○	○	○						
		45				○	○	○	○	○	○				
		60					○	○	○	○	○	○			

リがわずかに増加することにより、有害な膨張を示すものがあり、これがアルカリ量が多い高強度コンクリートにおいて、安全に使用できるかを検討した。実験は単位セメント量 350kg/m^3 、 500kg/m^3 および 650kg/m^3 のコンクリートについて行った。実験計画を表3に示す。反応促進のためのアルカリは工業用粒状水酸化ナトリウム（NaOH）を後添加することとし、セメントからのアルカリを含めた総アルカリ量を 6kg/m^3 までの範囲で4水準とした。セメントは、日本コンクリート工学協会の「コンクリート法によるアルカリ骨材反応判定試験方法研究委員会」で使用されたものとはほぼ同程度の高アルカリ形の普通ポルトランドセメント（比重3.15、全アルカリ（ R_2O ）=0.94%）を用いた。このアルカリ量は、JIS規格の普通ポルトランドセメントのアルカリ量の上限である全アルカリ（ R_2O ）=0.75%を上回っている。細骨材は非反応性骨材（M）、粗骨材は2-1により見いだされた比較的反応性の高い非反応性骨材（AおよびK）を使用した。

2-3 高炉スラグ微粉末の使用による高強度コンクリートのアルカリ骨材反応抑制効果

(実験Ⅲ) 高炉スラグによる抑制効果

アルカリ骨材反応の抑制対策の一つとして、高炉スラグ微粉末が用いられている。この高炉スラグ微粉末を、高強度コンクリートに使用した場合にも、普通強度のコンクリートと同様の効果が得られるかどうかの検討を行った。実験は単位セメント量 450kg/m^3 の高強度コンクリートのみを対象に行い、反応促進のためのアルカリは試薬 1 級塩化ナトリウム (NaCl) を使用した。セメントはセメント協会アルカリ骨材反応試験用普通ポルトランドセメント (比重 3.17、全アルカリ (R_2O) = 0.68%) とし、細骨材は非反応性骨材 M、粗骨材は反応性骨材 C1 を使用した。ここで、粗骨材 C1 は実験 I で使用した粗骨材 C と同一産地のものであるが搬入時期が異なるため、モルタルバー法の結果、材齢 6 カ月における膨張率は粗骨材 C の約 $1/2$ であった。高炉スラグ微粉末の粉末度は 4000 (比重 2.91、全アルカリ (R_2O) = 0.45%)、6000 (比重 2.91、全アルカリ (R_2O) = 0.47%)、8000 (比重 2.91、全アルカリ (R_2O) = 0.43%) cm^2/g の 3 水準、セメントに対するスラグの置換率は 0、30、45 および 60 % の 4 水準とした。また、本実験で用いた高炉スラグ微粉末には、せっこうが含有されているものとそうでないものがあり、高炉スラグの成分としてせっこうが含有されているか否かの違いがアルカリ骨材反応におよぼす影響も検討することとした。この検討は、一般的に使われている高炉スラグの粉末度 6000 cm^2/g で行った。実験計画を表 4 に示す。

3. 実験方法

3-1 骨材のアルカリ骨材反応判定試験

骨材の反応性の有無は、JIS A 5308 附属書 7 に準じた化学法試験および JIS A 5308 附属書 8 に準ずるモルタルバー法試験に基づいて行った。ただし、モルタルバー法においては比較的反応性の高い非反応性骨材を見いだすために、総アルカリ量を JIS A 5308 に定められる総アルカリ量 1.2% に加えて、総アルカリ量 1.5% でも行うこととした。

3-2 コンクリートによるアルカリ骨材反応判定試験

コンクリートのアルカリ骨材反応判定試験は、JCI コンクリートバー法²⁾に基づいて行った。この試験は、先に述べた化学法およびモルタルバー法が骨材の反応性判定試験であるのに対し、コンクリートの調合の反応性を検討するものである。コンクリート作製にはホバート形強制練りミキサーを用いた。供試体寸法は $7.5 \times 7.5 \times 40\text{cm}$ とし、両端の中央部に長さ変化測定用の標点ボルト

表 5 コンクリートの調合および圧縮強度 (実験 I)

単位 セメント量 kg/m^3	7/6 時 添加量 kg/m^3	水セメ ント比 %	細骨 材率 %	単位 水量 kg/m^3	絶対容積 l/m^3			AE 減水剤 $\text{c} \times \%$	圧縮 強度 kgf/cm^2
					セメント	砂	砕石		
350	1.8	55.7	47.0	195	111	321	363	—	338
	2.4								301
	3.0								294
	3.6								294
	0.0								627
650	0.6	36.3	38.9	236	206	208	340	—	603
	1.2								590
	1.8								548
	2.4								627
	0.0								899
	0.6	26.0	40.0	169	241	363	2.3		896
	1.2								840
	1.8								793
	2.4								771
	0.0								
	0.6								

表 6 コンクリートの調合および圧縮強度 (実験 II)

単位 セメント量 kg/m^3	7/6 時 添加量 kg/m^3	水セメ ント比 %	細骨 材率 %	単位 水量 kg/m^3	絶対容積 l/m^3			AE 減水剤 $\text{c} \times \%$	AE 剤 $\text{c} \times \%$	圧縮強度 kgf/cm^2	
					セメント	砂	砕石			A *	K *
350	0.0	52.9	46.0	185	111	319	375	—	—	408	408
	1.2									396	382
	1.8									381	381
	2.4									386	350
	0.0									423	400
	1.2	45.7	47.8	160	329	360	0.4	0.01		422	394
	1.8									393	357
	2.4									353	331
	0.0									665	659
	0.6									646	579
500	1.2	32.0	43.5	160	158	279	363	1.4	0.01	605	511
	1.8									616	549
	0.0									813	724
	0.6									720	600
	1.2									690	649

表 7 コンクリートの調合および圧縮強度 (実験 III)

単位 セメント量 kg/m^3	スラグ 置換率 %	7/6 時 添加量 kg/m^3	水セメ ント比 %	細骨 材率 %	単位 水量 kg/m^3	絶対容積 l/m^3				高機能 AE 減水剤 $\text{c} \times \%$	助剤 $\text{c} \times \%$	圧縮 強度 kgf/cm^2
						セメント	スラグ	砂	砕石			
450	0	1.6	35.8	44.0	160	143	0	289	368	1.3	0.01	512 ^{a)}
		2.4										
		3.2										
		4.0										
		4.8										
		5.6										
		6.4										
		7.2										
	30	3.2				100	46	288	366			
		4.0										
		4.8										
		5.6										
	45	4.0				79	69	287	365			
		4.8										
		5.6										
		6.4										
	60	7.2				57	93	286	364			
		4.8										
		5.6										
		6.4										
		7.2										
		8.0										

注) セメントに対する高炉スラグの置換率 0%、添加アルカリ量 0 kg/m^3 のベースコンクリートの圧縮強度

を埋め込んでいる。

打込んだ供試体は、打込み後約 20 または 48 時間後に脱型し、基準長さを測定した後、水を含ませて約 100g とした 2 枚の保水紙に包んだ後に網袋に入れ、個別にビニル袋で封緘した。さらに、 $40 \pm 2^\circ\text{C}$ 、100%RH に保たれた養生箱に配置し、測定材齢日の前日には 20°C 、60%RH の恒温恒湿室に移動し、20~24 時間後に測定を行った。測定材齢は、脱型時、材齢 2 週、4 週、その後は 1 カ月ないし 2 カ月毎とし、有害な膨張の有無の判定は材齢 6 カ月で行った。表 5~7 に各実験におけるコンクリートの調合と圧縮強度を示す。調合は、スランブ 18cm、空気量 4% を目標とした試験練りによって決定した。圧縮強度はアルカリを添加することにより、強度は若干小さくなる傾向がみられ、単位セメント量 350kg/m^3 のコンクリートで

300~400 kgf/cm²程度、単位セメント量 450、500kg/m³で500~600kgf/cm²、単位セメント量 650kg/m³で高性能AE減水剤を使用したコンクリートは約800~900kgf/cm²、であり、使用していないものは500~600kgf/cm²であった。

4. 結果および考察

4-1 骨材の反応性の検討

骨材の物理試験結果、化学法、モルタルバー法の結果を表8に示す。モルタルバー法に規定されている総アルカリ量1.2%では、材齢6カ月での膨張率が有害と判定される0.1%未満であり、総アルカリ量1.5%で0.1%を超える骨材として、F、K2、O2、A、K、T、O1、M1があり、この結果、粗骨材AおよびKを実験Ⅱに用いることとした。さらに反応性の高い粗骨材として、CおよびC1をそれぞれ実験ⅠおよびⅢに用いることとした。

4-2 高強度コンクリートのアルカリ骨材反応

(1) 高強度コンクリートと普通強度コンクリートの膨張性の比較： 低水セメント比の高強度コンクリートについて、普通強度コンクリートとの膨張性の違いを比較検討した。細骨材を非反応性骨材M、粗骨材を反応性骨材Cとしたコンクリートについて、材齢6カ月の総アルカリ量と膨張率の関係を、図1-(a)に示す。この図からは同一の総アルカリ量で、高強度コンクリートの方が、普通強度コンクリートと比較して、アルカリ骨材反応による膨張が抑制されているように見える。しかし、添加ア

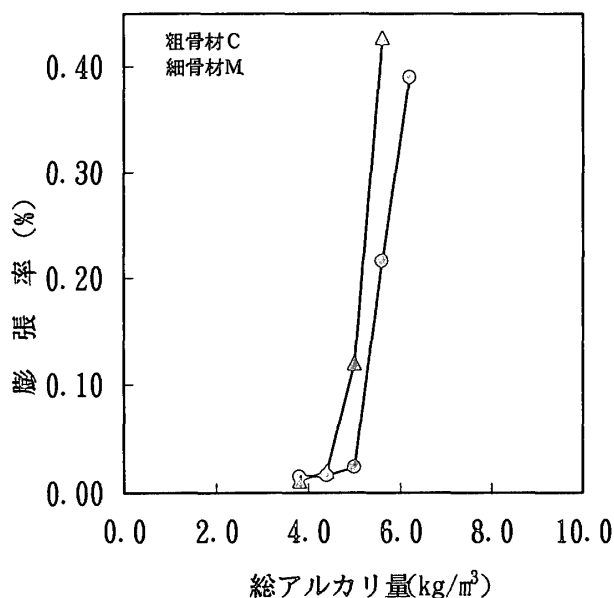
表8 骨材のアルカリ骨材反応性試験結果

記 号	吸 乾 比 重	モルタルバー法膨張率(%)		化学法 試験結果			総合判定結果	使用実験	
		総アルカリ量							
		1.2%	1.5%	Sc	Re	判 定			
細骨材	M	2.69	0.022	—	32.0	50.0	無害	○	I, II, III
	N	2.62	0.310	—	194.0	103.0	有害	×	I
	I	2.66	0.102	0.326	37.7	174.3	無害	×	
	F	2.60	0.043	0.129	44.0	114.7	無害	△	
	K2	2.58	0.048	0.160	95.3	137.3	無害	△	
	O2	2.61	※K2:O2=2.8で配合		41.3	83.0	無害	△	
	S	2.65	0.681	0.830	77.7	109.7	無害	×	
	C	2.65	0.679	0.794	461.3	140.0	有害	×	I
	A	2.64	0.046	0.351	480.7	222.0	有害	△	II
	K	2.68	0.031	0.132	130.7	196.0	無害	△	II
粗骨材	T	2.66	0.052	0.130	34.3	198.3	無害	△	I
	T2	2.64	0.255	0.745	538.7	196.3	有害	×	
	L5	2.63	0.679	0.794	212.0	82.7	有害	×	
	O1	2.64	0.042	0.178	29.7	55.3	無害	△	
	R	2.61	0.614	0.873	565.7	212.7	有害	×	
	M1	2.64	0.056	0.136	31.7	50.0	無害	△	
	C1	2.65	0.342	—	578.4	167.5	有害	×	III

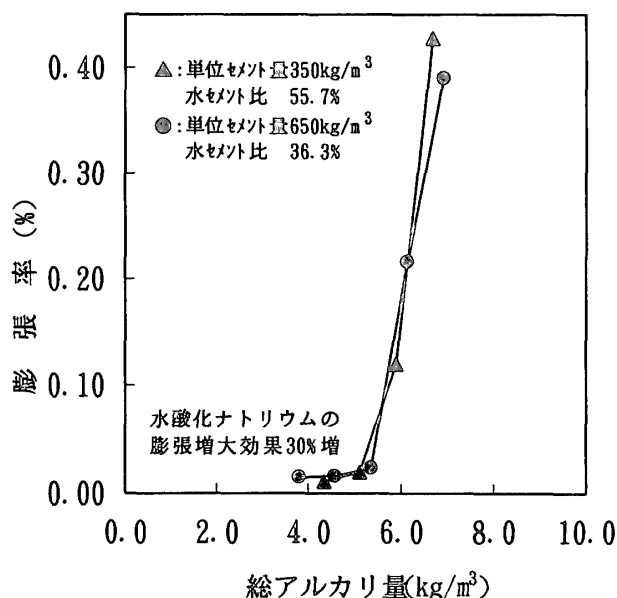
注) ○：非反応性骨材 △：比較的反応性の高い非反応性骨材 ×：反応性骨材

ルカリとして用いた水酸化ナトリウムからのアルカリはセメントからのアルカリと比べて30%程度膨張の発現を増大させるとの記述があり³⁾、この効果をセメント中の総アルカリ量で換算すると、総アルカリ量と膨張率の関係は図1-(b)のようになる。図は、膨張が総アルカリ量と密接な関係にあることを示しており、同一総アルカリ量での膨張量は、普通強度コンクリートと高強度コンクリートでは差がない。このことは単位セメント量が大きく、コンクリート中の総アルカリ量が大きくなる高強度コンクリートは、アルカリ骨材反応に対して不利な条件にあることを示している。

細骨材に反応性骨材N、粗骨材に非反応性骨材Tを使用したコンクリートについては、材齢6カ月においても



(a)



(b)

図1 普通強度コンクリートと高強度コンクリートの膨張性の比較(材齢6カ月)

0.1%を超える有害な膨張は認められず、有意な傾向をとらえることができなかった。

(2) 比較的反応性の高い非反応性骨材を使用した高強度コンクリートのアルカリ骨材反応： (1)において、高強度コンクリートは、単位セメント量が大きく、アルカリ骨材反応に対して不利な条件にあることが分かった。そこで、比較的反応性の高い反応性骨材を使用した高強度コンクリートのアルカリ骨材反応の可能性について検討を行う。材齢6カ月における総アルカリ量と膨張率の関係を図2に示す。水酸化ナトリウムを 1.8kg/m^3 を加えて、総アルカリ量を 6.5kg/m^3 とした単位セメント量 500kg/m^3 の高強度コンクリート、および水酸化ナトリウムを 1.2kg/m^3 加えて、総アルカリ量を 7.3kg/m^3 とした単位セメント量 650kg/m^3 の高強度コンクリートは、ともに膨張の傾向は全くみられなかった。この総アルカリ量は、JIS規格の上限である全アルカリ(R_2O) $=0.75\%$ のセメントを使用した場合よりもはるかに高い値であり、したがって、単位セメント量 500kg/m^3 程度の一般的な高強度コンクリートにおいては、従来のモルタルバー法の総アルカリ量 1.2% での試験および化学法で非反応性と判定された骨材を使用する限り、アルカリ骨材反応による有害な膨張は生じないと考えられる。

4-3 高炉スラグ微粉末によるアルカリ骨材反応抑制効果の検討

(1) 各種要因の検討： 高炉スラグ微粉末を高強度コンクリートに使用した場合の置換率、粉末度および粉末成分の影響の検討を行った。図3に置換率の影響の検討結果を示す。これによると高炉スラグの置換率 $0\% < 30\% < 45\% < 60\%$ の順に同一の総アルカリ量での膨張率が小さく、この順で抑制効果も大きくなっていることがわかる。

図4に粉末度の影響についての検討結果を示す。置換率30%の場合が最も有意な差を示しており、粉末度 $4000\text{cm}^2/\text{g} < 6000\text{cm}^2/\text{g} < 8000\text{cm}^2/\text{g}$ の順に抑制効果が高くなっている。

また、本実験で用いた高炉スラグには、粉末成分にせっこうが含まれてるものとそうでないものがあり、一般的に使用されている粉末度 $6000\text{cm}^2/\text{g}$ のものについて、その抑制効果の違いを検討した結果が図5である。置換率30%の場合、どの総アルカリ量であっても、粉末成分のせっこうの有無による抑制効果の差はみられなかった。(2) 抑制効果の検討： スラグ置換の効果を実用的に検討するうえで、スラグからのアルカリを無視するものとする。この場合、セメントをスラグで置換すると、セメントからのアルカリは、スラグで置換した分だけ減少する。高炉スラグ微粉末の効果がアルカリの減量のみであるとすると、総アルカリ量と膨張率の関係は、高炉スラ

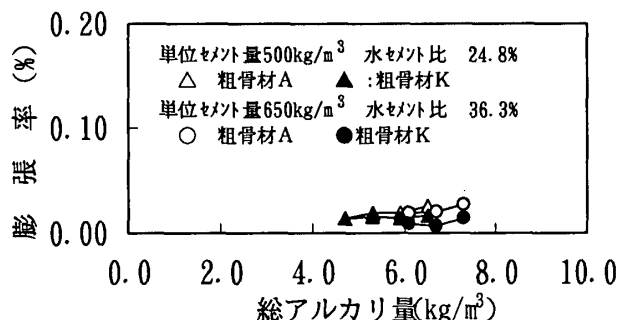


図2 比較的反応性の高い非反応性骨材を使用した高強度コンクリートの膨張性の比較(材齢6カ月)

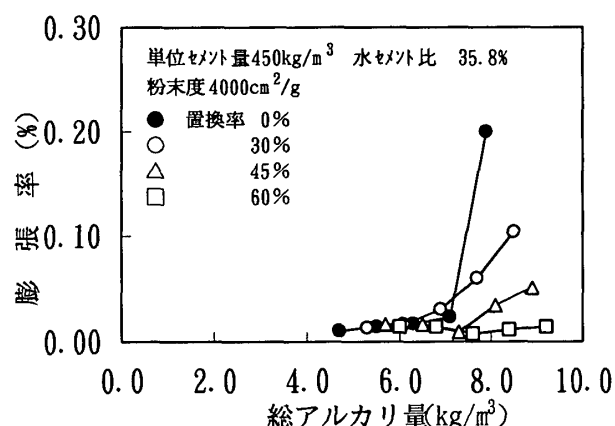


図3 高炉スラグ微粉末による置換率の影響(材齢6カ月)

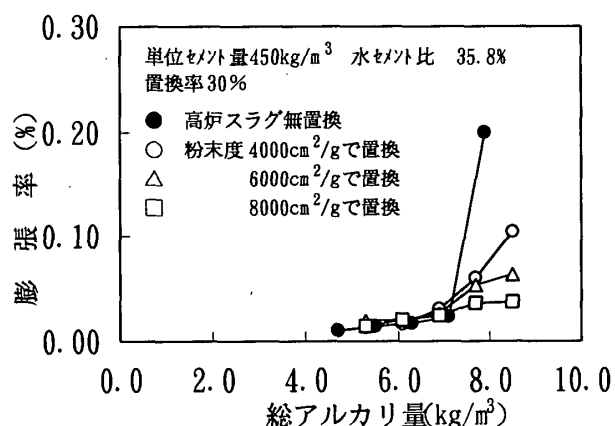


図4 高炉スラグ微粉末の粉末度の影響(材齢6カ月)

グ微粉末の置換率に関わらず一致することになる。しかし、図3からも明らかのように、高炉スラグでは置換率0%の場合と比較して同一のアルカリ量での膨張率が小さく、セメントから供給されるアルカリの減量以外にも効果があることが分かる。ここで、膨張の傾向がみられた置換率30%のコンクリートについて、図6のように、高炉スラグで置換した場合の膨張率が、有害な膨張の指標である0.1%となるアルカリ量を計算し、普通ポルトランドセメントとの差をスラグによるアルカリ骨材反応抑制効果とし、この値をセメントのアルカリ当量として求めると、粉末度4000、6000および8000 cm^2/g について、

それぞれ1.0, 1.2および1.7kg/m³の値を得た。この結果は、高炉スラグで置換することによるアルカリ量の減量に加えた高炉スラグの効果を表すことになる。高炉スラグ微粉末にアルカリ減量分以外のこのアルカリ当量分の効果があるとし、高炉スラグの置換率30%のコンクリートについて総アルカリ量を補正した総アルカリ量と膨張率の関係を図示し、さらに、この関係を回帰した結果を図5に示す。

単位セメント量500kg/m³の一般的な高強度コンクリートについて、全アルカリ(R₂O)=0.6%の低アルカリセメントを使用した場合のセメントからのアルカリ量は高炉スラグで置換していない場合で3.0kg/m³、30%置換した場合で2.1kg/m³となる。ここで、前述の結果より、高炉スラグ微粉末にはアルカリ当量で1.0~1.7kg/m³に相当する効果があることを考慮すると、セメントからのアルカリの効果は、実質的に0.4~1.1kg/m³となる。この値は、アルカリ骨材反応抑制対策として知られている総アルカリ量3.0kg/m³の1/10~1/3程度である。したがって、低アルカリセメントを使用し、高炉スラグで30%置換することにより、高強度コンクリートのアルカリ骨材反応は抑制できるものと判断できる。

5. まとめ

本研究の結果、単位セメント量500kg/m³程度の一般的な高強度コンクリートについて次のことがいえる。

- ① 高強度コンクリートの反応性は普通強度と同等であるが、単位アルカリ量が大きくなる高強度コンクリートの方が不利な条件となる。
- ② 従来のモルタルバー法および化学法で非反応性と判定された骨材を使用する限り、コンクリートでは有害な膨張は生じないといえる。
- ③ 高炉スラグ微粉末による抑制策では、置換率30%のコンクリートの場合、置換したアルカリの減量分のほか、アルカリ当量にして約1.0~1.7kg/m³程度のアルカリ減量効果がある。
- ④ 低アルカリセメントを使用し、高炉スラグ微粉末でセメントを30%置換することで、高強度コンクリートのアルカリ骨材反応の抑制は可能と判断できる。

<謝辞>

本研究は、建設省総合プロジェクトNew RC（委員長：青山博之東大教授）、高強度コンクリート分科会（主査：友沢史紀東大教授）の活動の一部として行ったものである。また、本研究の一部は、平成4、5年度文部省研究費補助金(奨励研究(A))・代表：浜 幸雄)の交付を受けた。記して、謝意を表す。

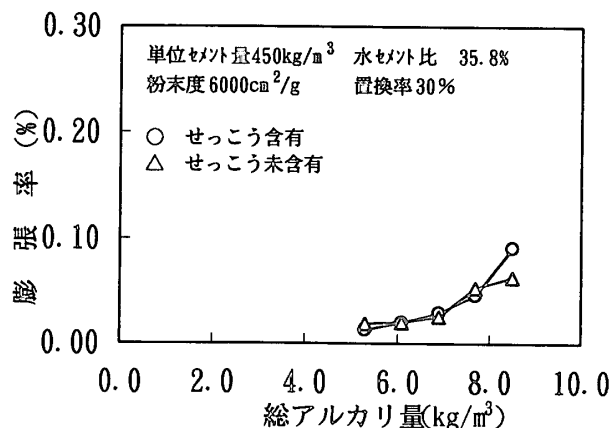


図5 高炉スラグ微粉末成分の影響(材齢6カ月)

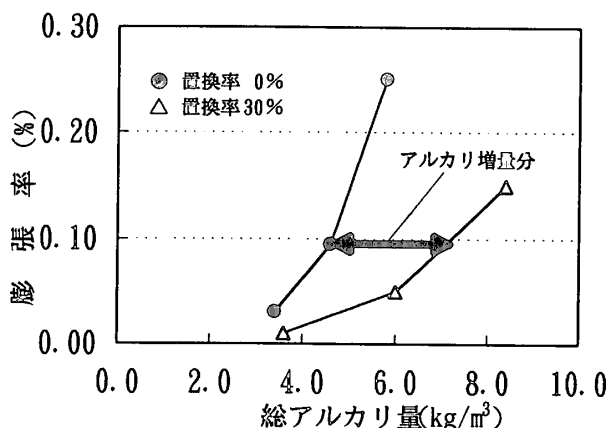


図6 アルカリ当量を求めるための検討方法

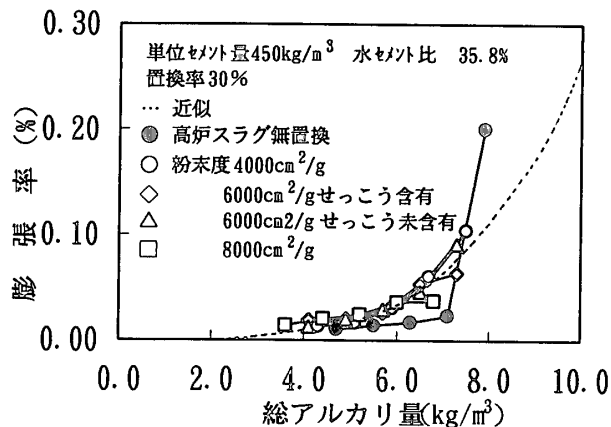


図7 アルカリ当量分補正後の総アルカリ量と膨張率の関係

<参考文献>

- 1) 建築工事標準仕様書・同解説(JASS 5) 付49, 日本建築学会 1992 pp.645~646
- 2) コンクリートのアルカリシリカ反応判定試験方法(案), 日本コンクリート工学協会 1991
- 3) アルカリ骨材反応調査研究委員会報告, 日本コンクリート工学協会 1989 p.141

(1995年4月5日原稿受理, 1995年9月6日採用決定)